

DEBRIS ELIMINATOR, LIGHT SOURCE AND EXPOSURE DEVICE

Patent number: JP2002313598
 Publication date: 2002-10-25
 Inventor: MICHAEL SOGAADO
 Applicant: NIKON CORP
 Classification:
 - international: H05G2/00; G03F7/20; G21K5/02; H01L21/027
 - european:
 Application number: JP20020003939 20020110
 Priority number(s):

BEST AVAILABLE COPY

Also published as:

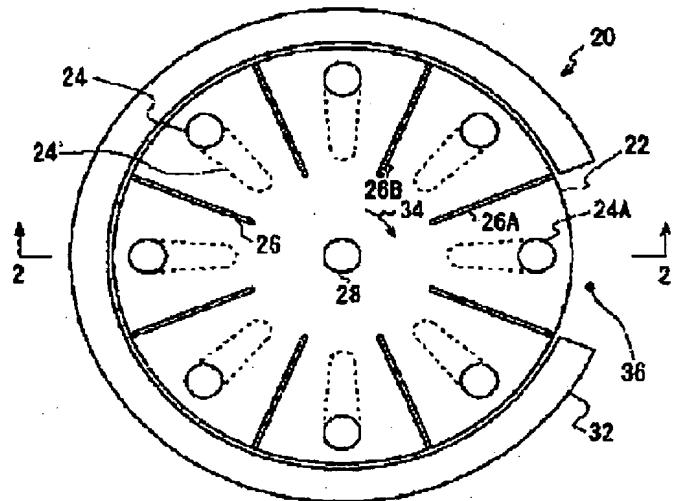
 US2002090054 (A1)

Report a data error here

Abstract of JP2002313598

PROBLEM TO BE SOLVED: To eliminate difficulty in reducing debris.

SOLUTION: A debris eliminator has at least one blade and a moving mechanism for cleaning up a debris-containing space by moving the blade.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Patent Abstracts of Japan

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2002-313598

(P2002-313598A)

(43)公開日 平成14年10月25日 (2002. 10. 25)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	マーク(参考)
H 05 G 2/00		G 03 F 7/20	5 0 3 2 H 0 9 7
G 03 F 7/20	5 0 3	G 21 K 5/02	X 4 C 0 9 2
G 21 K 5/02		H 05 G 1/00	K 5 F 0 4 6
H 01 L 21/027		H 01 L 21/30	5 3 1 S

審査請求 未請求 請求項の数28 OL (全 15 頁)

(21)出願番号	特願2002-3939(P2002-3939)
(22)出願日	平成14年1月10日 (2002. 1. 10)
(31)優先権主張番号	09/756909
(32)優先日	平成13年1月10日 (2001. 1. 10)
(33)優先権主張国	米国 (U.S.)

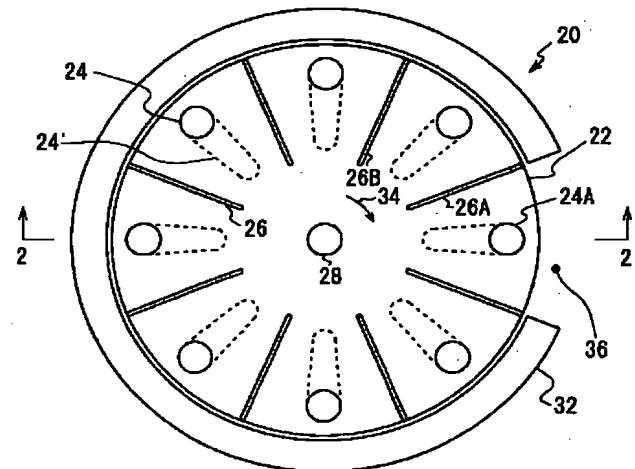
(71)出願人	000004112 株式会社ニコン 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号
(72)発明者	マイケル ソガード アメリカ合衆国、カリフォルニア 94025 メンロ パーク, 516 プラシタス ア ベニュー
Fターム(参考)	2H097 CA15 GB00 LA10 4C092 AA06 AB19 AC09 BD20 5F046 GC03

(54)【発明の名称】 デブリ除去装置、光源及び露光装置

(57)【要約】

【課題】デブリの抑制が困難である。

【解決手段】少なくとも一つの羽根と、デブリを含む空間を当該羽根を移動させることによって一掃させる移動機構とを有することを特徴とするデブリ除去装置。



【特許請求の範囲】

【請求項1】少なくとも一つの羽根と、デブリを含む空間を当該羽根を移動させることによって一掃させる移動機構とを有することを特徴とするデブリ除去装置。

【請求項2】前記羽根を繰り返し駆動させる制御装置を設けたことを特徴とする請求項1に記載のデブリ除去装置。

【請求項3】前記羽根を周期的に駆動させる制御装置を設けたことを特徴とする請求項1乃至2に記載のデブリ除去装置。

【請求項4】前記羽根は回転軸を中心に回転運動することを特徴とする請求項3に記載のデブリ除去装置。

【請求項5】前記羽根を複数設けたことを特徴とする請求項1から4のいずれか1項に記載のデブリ除去装置。

【請求項6】放射光を放射する放射源と、請求項1乃至5のいずれか1項に記載のデブリ除去装置と、を備えた事を特徴とする光源装置。

【請求項7】前記羽根は放射光の発生と同期して移動されることを特徴とする請求項6に記載の光源装置。

【請求項8】デブリの少なくとも一部を阻止し、前記放射光は通過させるバリア手段を設けたことを特徴とする請求項7に記載の光源装置。

【請求項9】前記バリア手段はプレートと、該プレートに設けられた少なくとも一つの開口であることを特徴とする請求項8に記載の光源装置。

【請求項10】放射光が通過するときには前記開口が前記放射光の光路中に位置するように制御することを特徴とする請求項9に記載の光源装置。

【請求項11】前記プレートは回転軸を中心に回転し、該回転を制御することにより開口を前記放射光の光路中に位置させることを特徴とする請求項10に記載の光源装置。

【請求項12】前記羽根はプレート表面から延びており、前記回転軸から放射状に延びるように配置されることを特徴とする請求項11に記載の光源装置。

【請求項13】前記羽根と前記開口は各々複数配置され、前記プレートの円周方向に交互に配置されることを特徴とする請求項12に記載の光源装置。

【請求項14】前記羽根の周囲にデブリを収集するためのマニホールドを設けたことを特徴とする請求項6から13のいずれか1項に記載の光源装置。

【請求項15】前記マニホールドは環状であり、少なくとも一部に開口を有することを特徴とする請求項14に記載の光源装置。

【請求項16】前記羽根は複数設けられ、前記マニホールドの開口は2つの羽根の間に設けられることを特徴とする請求項15に記載の光源装置。

【請求項17】前記羽根とは反対側の前記プレートの側面にカバーを設けたことを特徴とする請求項6から16のいずれか1項に記載の光源装置。

【請求項18】前記羽根は平面であることを特徴とする請求項6から17のいずれか1項に記載の光源装置。

【請求項19】前記羽根は曲面であることを特徴とする請求項6から17のいずれか1項に記載の光源装置。

【請求項20】前記曲面は凹面を有し、前記プレートが回転されるとき、その回転方向に凹面が配置されることを特徴とする請求項19に記載の光源装置。

【請求項21】前記羽根は前記羽根の移動方向に対して角度を持って配置されることを特徴とする請求項6から20のいずれか1項に記載の光源装置。

【請求項22】前記羽根は複数のプレードを有することを特徴とする請求項6から21のいずれか1項に記載の光源装置。

【請求項23】固定された複数のプレードを更に有し、前記羽根のプレードの少なくとも一つが前記固定されたプレードの間を通過することを特徴とする請求項22に記載の光源装置。

【請求項24】前記プレードは前記羽根の移動方向に垂直な方向に曲がっていることを特徴とする請求項22または23に記載の光源装置。

【請求項25】前記放射源は前記プレードの曲率半径の中心に配置されることを特徴とする請求項24に記載の光源装置。

【請求項26】前記放射源はレーザープラズマ放射源であり、ターゲットと、前記ターゲットに集光されるレーザー光源とを有することを特徴とする請求項6から25のいずれか1項に記載の光源装置。

【請求項27】前記プレートは前記レーザー光源からのレーザーを選択的に通過させるための開口をさらに有することを特徴とする請求項26に記載の光源装置。

【請求項28】請求項6乃至27のいずれか1項に記載の光源装置と、

前記光源装置からの放射光をレチクルに照射する照明光学系と、

前記レチクルのパターンを感応基板上に転写する投影光学系と、

前記ウエハを搭載するウエハステージと、を有することを特徴とする露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明はデブリ(debris)を押さえ込む装置及びその方法に関するものであり、特に、X線やEUV (Extreme Ultra Violet) 光を用いた露光装置に使用されるレーザープラズマ放射源からのデブリを押さえ込む装置と方法に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、リソグラフィや顕微鏡の分野ではEUVやX線放射が光源として用いられている。例えば、リソグラフィ装置では半導体ウエハ上に形成されたレジストを露光するためにEUVやX線放射を用いてい

る。レジストが形成されたウエハはパターン形成されたマスクからの放射光路中に配置され、露光される。そして、レジストが現像されることによってマスクのパターンはウエハ上に転写されることになる。顕微鏡では、EUV光やX線は薄い試料を透過してレジストが形成されたプレートに到達する。そして、レジストが現像されることによって試料の構造に関係した形状が形成される。

【0003】このようなX線やEUV放射源にとって重要な事は、ターゲット上にレーザー光のパルスが集光されることによって生じる高温のプラズマである。ターゲットは固体、液体、気体がある。この放射のスペクトル特性はターゲットの組成、構造や波長、発光ピーク、パルス長、スポットサイズ等のレーザーパルスの特性等の関数となる。

【0004】X線やEUV光を用いたリソグラフィ装置の一つの大きな問題点は、レーザーによって発生するプラズマである。何故ならば、X線やEUV放射を生成すると同時にプラズマが高温となる結果であるイオンのデブリ(飛散粒子)や物質が生成されるからである。レーザースポットが形成された領域の固体や液体のターゲット材料は急速に蒸発し相対的に低い温度のイオン化されたプラズマが最初に生成される。その後、続けてやってくるレーザーパルスによってこのプラズマは非常に高い温度に加熱される。ターゲットから発生したデブリは相対的に大きな速度と相対的に高い温度を持つ。イオン、原子、原子のクラスター、肉眼で見えるサイズのものを含むデブリは大きな速度と高い温度を持ち、光学素子や他の部材にダメージを与えたり劣化させたりする可能性がある。例えば、長時間デブリが生成されると、光学系の表面にデブリの層が形成されたり、反射特性や透過特性を変化させてしまったりする可能性がある。デブリによる問題は固体や液体のターゲットを用いることを困難にしていた。従って、上述のダメージを防止または緩和するために、固体や液体のターゲットから発生するデブリを抑える方法が望まれている。

【0005】レーザー誘導プラズマによって発生するデブリに関するこれらの問題は、ある側面では非常に有効である液体や固体の放射源(ターゲット)の使用を著しく制限することになる。そのため、上述のデブリによる問題を緩和させるために多くの試みが提案されている。

【0006】一つの方法は、デブリの発生量が相対的に少ないガス状のターゲットを用いることである。しかしながら、高い運動エネルギーを持つ原子が長時間発生すると光学素子やその他の部材にダメージを与える可能性がある。ターゲットの周囲に相対的に低い圧力のガスを与えることによって、このような高運動エネルギーの原子のエネルギーを低くしたり、動きを防止したりすることが可能となる。更に、このようなガスに加えて、X線の光路中に使用波長の光束に対しては十分な透過率を持

ち、かつ、不要なデブリに対しては吸収特性を示す薄い窓を設けることも行われている。勿論、この窓は単独で設けても効果がある。

【0007】更に、ガス状のターゲットに効率的にレーザーパルスが吸収されるように、ガス密度を高くすることが好ましい。ガスの密度を高くするには複雑で精密な超音波ノズルとポンプを用いる必要がある。また、ガスの密度を高くすると、ガスはノズルから急速に離れてていき広がってしまう。そのため、レーザーパルスはノズルに近い位置に集光されなければいけない。その結果、ノズル先端がプラズマによってダメージを受け、これがデブリを発生する他の要因となってしまう。

【0008】ターゲットとしてガス源を用いる事の他の欠点は、ガス自身が高価であるということである。例えば、ターゲットとして使用可能なキセノンは実際に高価である。

【0009】デブリを減少させるための他の試みは、液体を噴霧したターゲットである。液体源をとても小さな小滴にして分散させることができれば、いくつかの液体をデブリの発生の少ないターゲットとして用いることが可能である。理想的には、各々の小滴はレーザーパルスが照射されることによって全て用いられる。しかしながら、液体噴霧ターゲットはレーザーパルスによって全ての小滴をプラズマにすることは不可能であり、これがデブリとなる可能性がある。そのため、要求されるスペクトル特性を有する放射に対しては透過するような吸収特性を持つ、薄い窓を設け、光学素子や他の部材にダメージを与えるデブリを阻止することが必要となる。

【0010】上述したように、ガスや液体をターゲットに使った場合においても非常に薄い窓を用いる必要性がある。しかしながら、このような窓の使用は実際にはいくつかの要因によって制限される。窓は、必要とされる放射に対して、相対的に高い透過特性を有する必要性がある。それにもかかわらず、窓は装置の効率を大きく減少させる可能性がある。例えば、EUV放射では、透過の要求に対して膜厚が極めて薄くなり、壊れやすい窓となる。このような窓はデブリによって簡単にダメージを受けたり、長時間照射されることによってデブリが窓の表面に形成されたりすることにより、光学特性を変化させたり、透過特性や装置の効率を減少させる可能性があり、窓を頻繁に交換する必要性が生じる。更に、低圧のガスは早い速度を持つ原子のスピードを抑えることができるが、この原子は装置の他の部材へ散乱し、結局それらの表面に層を形成し、これらの部材の光学特性や他の特性を変化させる可能性がある。

【0011】それにもかかわらず、ガスや液体のターゲットは固体をターゲットとした場合に比べてはるかにデブリの量を減らすことができる。例えば、ガスや液体をターゲットとして用いた場合のデブリ発生量はEUVリソグラフィに用いられるEUV光源に必要とされる仕様を

満足するオーダーである。現在のところ、固体ターゲットではこのような仕様を満足することは難しいと考えられている。固体ターゲットを用いない場合、使えるターゲット材料は極端に制限される。このことは得られるスペクトル特性やレーザーパルスから放射への変換効率が制限されることになる。

【0012】従来は、デブリの抑制のために、機械的に往復したり回転するシャッターが用いられている。このシャッターはレーザーパルスとプラズマから発生した放射を通過させ、最も速度の早いデブリはその面で阻止するように構成されている。しかしながら、このシャッターは単に速度の速い電子が通過するのをその面で阻止するだけのものである。速度の遅いデブリは続くレーザーの為にシャッターが再度開いた時に通過してしまう。EUV放射プラズマ源として考えられる高いパルス繰り返し周波数を有するレーザーを用いた場合、この問題は特に問題となる。このため、回転シャッターは光学系や他の部材のダメージを防止するためにデブリを完全にあるいは効率的に阻止することはできなかった。

【0013】回転シャッターの例は米国特許第4408338 (Grobman) に記載されている。この特許では電磁放射源の光路に回転シャッターを配置している。シャッターは電磁放射源から十分に距離をおいて配置されるので、電磁放射パルスとデブリとの伝播速度の差から両者は異なる時間にシャッターに到達することになる。シャッターは円形であり、単一の開口もしくはノッチが設けられている。シャッターの動きは、電磁パルスがシャッターが開いている時に通過し、デブリがシャッターが閉じているときに到達するように、電磁パルスに同期している。しかしながら、上述したように、次の電磁パルスを通過させるためにシャッターを再度開いた時に到着する速度の遅いデブリを捕まえることはできない。

【0014】明らかなように、従来の装置では、ターゲットからの速度の速いデブリを捕まえるように設計されているが、発生するデブリは速度のスペクトル幅が広いので全てのデブリをシャッターで阻止することはできない。いくつかのデブリは閉じたシャッターにぶつかる。しかしながら、他の速度の遅いデブリは次にシャッターが開いた時にまだ移動中であり、これらは通過してしまう可能性がある。従って、問題となる量のデブリがシャッターを通過してしまうのである。速度の遅いデブリは一般的に大きいので、装置の構成部材に与えるダメージを減少させるためにシャッターを設けてもあまり効果はない。

【0015】デブリを減少させるための他の方法は米国特許第4860328 (Frankel et al) に開示されている。この特許ではリソグラフィ装置のプラズマ放射X線を発生させるためのターゲットについて開示がある。このターゲットはプラズマからのデブリの発生が小さくなるように設計されている。しかしながら、この特許は発生して

しまったデブリの抑制については開示していない。

【0016】

【発明が解決しようとする課題】本発明はEUVリソグラフィに許容可能なレベルまでレーザープラズマ光源から発生するデブリを抑制するための効果的な装置を提供する事を目的とする。また、EUVリソグラフィや他の装置の要求するデブリの量を満足するような放射発生に、固体、液体、霧状の液体、ガスを用いることが可能となることを目的とする。このような装置はターゲット材料の選択をより広いものにし、その結果、スペクトル特性をより広範囲にし、放射の発生効率をより高くすることが可能となる。更に、好ましくは、シンプルでコスト効率の良いデブリ抑制装置若しくは方法を提供することを目的とし、デブリが長時間装置の構成部材に照射されることを防ぐ。このような装置は好ましくはリソグラフィ装置のダウンタイムを減少させることができとなる。

【0017】

【課題を解決するための手段】前記課題を解決するために、本発明では少なくとも一つの羽根と、デブリを含む空間を当該羽根を移動させることによって一掃させる移動機構とを有することを特徴とするデブリ除去装置を提供する。

【0018】

【発明の実施の形態】図1は本発明の実施形態によるデブリ除去シャッターを示す平面図であり、図2は図1の2-2線で切った断面図である。シャッター20は、開口部24を有するプレート22と、好ましくはプレート22に接続されている複数の羽根状部材26と、プレート22を回転軸30を中心に回転可能に搭載したシャフト28と、マニホールド32とを有する。

【0019】図2に示すように、X線40を発生させるために、レーザービーム42がレーザープラズマターゲット44上に集光されることによりプラズマが発生し、X線が得られる。プラズマからX線が発生するとき、デブリも発生する。回転軸30を中心にシャッター20が回転すると、デブリ除去シャッター20は選択的にかつ周期的に開閉を行う。シャッター20が開いているとき、シャッターは、例えば、X線やデブリを通過可能とする。同様に、シャッター20が閉じているとき、シャッターはX線やデブリの通過を阻止する。光学系で決められる立体角内、若しくは、X線が通常通過する領域内のデブリやX線の通過が阻止されるときシャッター20は閉じていると考えることができる。

【0020】各々の開口24が図の24AのようにX線やデブリの行路に位置されるとき、シャッター20をX線40は通過することができる。いつの時間においても、他の開口24がX線の光路に位置していないときに、一つだけの開口24がX線の光路に配置されることが好ましい。しかしながら、開口24と羽根26の位置関係やプレート22との関係によって、一つ若しくは2つの

付加的な開口を開口24Aの周囲に(半径方向の上や下)設けることもできる。

【0021】開口24の大きさや形状はシャッター20の立体角に影響し、そのため通過するX線40の量や形状にも影響を及ぼす。開口24は図1に示すように円形が好ましい。その理由は多くの光学系は軸対象に依存しているからである。しかしながら、特別な装置やX線の角度分布の仕様によっては、どのような形状や大きさにしても構わない。開口24の形状例としては、矩形、台形、橢円や図1に示すような扇形24'等を含む。より大きな開口である扇形24'は大きな立体角を持つシャッター20を構成できるので、より多量のX線を通過させることが可能となる。例えば、図1、2をスケール図として扱うなら、円形開口24に対する立体角はおよそ0.12ステラジアン(steradian)であり、扇形開口24'に対する立体角は0.28ステラジアンとなる。

【0022】プレート22が回転軸30を中心に矢印34の方向に回転すると、シャッター20は開口24AがX線40とデブリ46の行路に配置されたときに開となる。制御装置25はシャッター20を回転駆動させるモーター27とレーザービームパルス発生器29に接続されている。制御装置25はシャッター20の回転とレーザービームパルスのタイミングを同期させて制御することによってシャッター20が開くと同時にX線が発生する。制御装置25によってターゲットを制御する事も可能である。例えば、プラズマでダメージを受けたターゲット44を移動することにより新しいターゲットの領域をレーザーが照射される領域にもっていくことができる。

【0023】プレート22が連続して回転するとき、開口24Aの近傍に位置する羽根26Aはある空間を横切り、この空間を一掃することになる。羽根26Aによって横切られる空間は一つ前のレーザーパルスによって発生したX線40とデブリ46の行路を阻止する。一つ前の集光レーザービームによって発生したプラズマは羽根26Aがその空間を通過する前に消滅していることが好ましい。

【0024】羽根26Aがその空間を横切るとき、羽根26Aはその空間の少なくとも一部を一掃し、その空間に含まれるデブリの少なくとも一部と接触する。羽根26Aに接触するこの空間に含まれるデブリは重要となる。ターゲット44と羽根26Aとの間に存在するわずかな隙間に位置する最も速度の遅いデブリは羽根26Aには接触しない。従って、残りのデブリ46は羽根26Aの表面に堆積したり、その行路を曲げられる。羽根26Aに接触しなかった最も遅いデブリは次にくる羽根26B上に堆積したり行路を曲げられる。

【0025】羽根26Aは羽根26Aに堆積せずに行路を曲げられたデブリ46に大きな運動量を与える。この大きな運動量はプレート22の回転スピードが高い事に起

因する。プレート22は羽根26の移動速度がデブリの速度と同等か大きくなるようなスピードで回転されることが好ましい。デブリの速度はプラズマの状態に依存するが、広い範囲に渡り、速度のピークはM.C. Richardsonらの論文 (Applied Optics 32, 6901(1993))によれば 10^4 cm/秒 となる。これはX線の伝播速度である $3 \times 10^{10} \text{ cm/秒}$ と比較される。羽根26Aによってデブリ46に与えられた運動量は一般的には定義できない。原子や分子レベルの小さな粒子に関しては、ランベルトの法則や余弦法則に従った反射角分布及び入射と最終方向との間の相互関係の損失を持って粒子は羽根の表面から反射する。従って、プレート22が無くても羽根26のみで前述の空間に存在する小さなデブリを効率的に除去することができるか予想するのは困難である。しかしながら、大きなデブリ粒子に関しては、羽根26Aによって与えられる運動量の方向は羽根26Aが移動している方向となる。言い換えるならば、デブリ46に与えられる運動量の方向は羽根26に対して垂直、若しくは、円形のプレート22の円周に接している。従って、行路が曲げられたデブリは前述の空間からプレート22の円周に接した方向に追い払われ、マニホールド32へ向かう。

【0026】残りの開口24や羽根26は上述した開口24や羽根26Aと同様である。プレート22の回転はシャッター20が開いている周波数がレーザービームパルス42の周波数と同期させることが好ましい。一般に、シャッター20はX線が開口を通過するために十分な長さだけ開くことを必要とする。更に、シャッター20はプレート22に最も早いデブリが到達する前に閉じることが好ましい。

【0027】羽根26はプレート22と一体形成される、または接続される、あるいは接触するようにプレート22から延びている。各々の羽根26は平坦な板である。更に図1に示すように、各々の羽根26は回転軸30に対して放射方向に等しい長さとすることが好ましい。また、各々の羽根26は放射状に等しい角度で配置されることが好ましい。開口24と羽根26は好ましくは交互に配置される。図1に示すシャッター20では8個の開口24と8個の羽根26を示したが、この数は装置に併せて適当な数を選択すればよい。開口、羽根、プレートの数、大きさ、形状、位置は、例えば必要な立体角やレーザービームパルスを発生させるための光学装置の要求等の多くの装置パラメータに依存する。

【0028】例えば、プレート22は、直徑がおよそ150mmであり、8個の開口と8個の羽根を設け、レーザーの集光面から10mm距離を離して配置される。各々の開口は直徑がおよそ8.5mmの円であり、X線の立体角が0.5ステラジアンである。羽根は好ましくは長さが約40mm、高さが約9mm、幅が1mmかそれ以下とされる。シャッターが開となる周波数とレーザービームパルスの周波数は同じであり、約1500Hzである。そして、プレートは11.2

50rpmで回転され、周囲の速度は約90m/秒となる。

【0029】有効立体角を最大にするためには、レーザーターゲット面とシャッターのプレート22との間の距離はできる限り短くすることが好ましい。しかし、この距離は最も早いデブリがプレート22に到達する前にシャッターが閉じる程度に長くしなければならない。上述の例では、最も早いデブリの速度が 10^4cm/s と予測され、シャッターは $1\text{cm}/10^4\text{cm/s} = 10^{-4}\text{秒}$ で閉じなければならない。シャッターの開口は $8.5\text{mm} = 0.85\text{cm}$ なので、シャッターの速度は $0.85\text{cm}/10^{-4}\text{秒} = 85\text{m/s}$ を超えないなければならないが、この速度は上述の90m/sよりも遅い。よって、レーザーターゲット面とシャッタ一面との距離は更に短くすることができるので、シャッタ一面性能を落とさずに更に立体角を大きくすることが可能である。

【0030】明らかなように、シャッターの速度を増加することができれば、ターゲット面とシャッタ一面との距離は更に短くすることができ、立体角は大きくすることができます。この場合にはレーザーパルスの周波数と同期させるために、各開口間の距離は大きくなるように調整する必要がある（レーザーパルスの周波数を高くして調整しても良い）。シャッタースピードの上限は、引っ張り強さ S とシャッターマテリアルの密度 ρ を用いて表すことができ、その関係は、最大回転速度 $\omega = \sqrt{S/\rho}$ となる。このことは超遠心機の技術分野ではよく知られている。上述の回転速度は通常用いられる金属の限界内である。

【0031】開口24や羽根26に関しては多くの変形例が考えられる。例えば、より少ない若しくは多い羽根や開口を設けても良い。羽根は開口のすぐ近くに配置可能であり、開口の倍の数の羽根を配置したり、羽根同士の距離（円周に沿った角度）が等しくなくても良い。

【0032】他の変形例としては、羽根26は半径方向に関してシャフト方向に更に長さを長くしてもよい。しかしながら、デブリ46が羽根26とシャフト28との間の領域に到達したとしても、そこには開口が無いのでプレート22によって阻止される。従って、羽根を内側に延ばすことはそれほど有益ではない。更に、もし、装置内に低圧ガス等のガスが存在する場合は羽根26とシャフト28との間の距離はあるほうが好ましい。何故ならば、シャッター20の回転スピード及び/またはシャッターモーターの消費電力に過度に負担をかけないように、羽根による回転抵抗を高くしないことが好ましいからである。

【0033】デブリのいくらかは羽根26やプレート22に付着する。このことはデブリが逃げることを防止するという点でシャッターの性能を向上させる。しかし、羽根26やプレート22上に長時間に渡ってターゲットからの材料が蓄積されると、非対称な質量分布を形成するので、回転の不安定性を引き起こすので、交換する必

要が生じる。従って、これらの蓄積されたデブリを減少させるために羽根26やプレート22の表面を処理することが好ましい。このような処理はレーザーターゲット44の元素組成に依存する。

【0034】マニホールド（若しくは収集溝）32はプレート22と羽根26を部分的に囲っており、デブリ46を捕獲するための環状空間38を形成している。羽根26によって除去されたデブリ46は好ましくは環状空間38によって収集される。マニホールド32は静止しており、レーザービーム42が通過してターゲット上に集光することができるよう、マニホールド32は開口（若しくはギャップ）36を有する。この開口若しくはギャップ36はどのような大きさでも構わないが、図1では2つの羽根26の間の円周分の開口とされている。

【0035】シャッター20は低圧環境若しくは低圧チャンバー内で用いることが可能であるが、好ましくは連続的に低圧ガスがチャンバー内に供給される。低圧ガスはシャッター20に対して速い速度のデブリ46の速度を落とすことができる。低圧ガスは羽根26から跳ね返ったデブリを拡散させる。

【0036】供給された低圧ガスはマニホールド32から排気され、マニホールド32で収集されたデブリ46は低圧ガスの流れによって取り除かれる。また、真空ポンプをマニホールド32に接続し、チャンバー圧よりもマニホールドをわずかに真空にしてもよい。マニホールド32と周囲のチャンバとの間の圧力差は羽根26によって収集されたデブリ46を積極的にマニホールド32に引き寄せ、マニホールドから取り除く事を可能とする。

【0037】カバー39はプレート22のターゲット44とは反対側の側面に配置することができる。カバー39は一般にX線が通過するマニホールド32の開口36の近傍を除いてプレート全面を覆っている。カバー39はプレート22から距離をおいて配置され、プレート22の回転を妨げないようにされている。カバー39は静止しており、図2に示すようにマニホールド32に支持されている。なお、カバー39は他の静止している部材（不図示）によって支持してもよい。カバー39は、カバー39上に位置するプレート22の一つの開口24を通過したデブリを更に阻止することができる。更に、シャッター22の構成部材が破損したりしたときに、近傍の例えれば非常に壊れやすい光学部材等の構成部材を破壊することを防止することができる。

【0038】プレート22は中心回転軸30を持つ円形とされている。このような形状は好ましいが、他の形状にしてもよい。しかしながら、プレートはシャフト28のトルクが不均衡になるのを避けるために回転のバランスが取られるべきである。回転運動の代わりに、プレート22を線形運動の往復運動としても良い。図14は概略的にこのような構造を示しており、矩形のシャッタープレート60がプラズマによる放射40の光路を横切つ

て往復駆動される。開口62はプレート60を放射40が通過できるように配置されている。プレート60は切り取り部64を有し、この部分からレーザービームがターゲット44に入射可能とされている。プレート60から伸びているバッフル(羽根)66はプラズマからのデブリ46を除去または向きを変えることにより、開口62や切り欠き部64をデブリが通過することを防ぐ。デブリ除去の機能とメカニズムは前述の例と同様である、不図示のマニホールドをプレート60の端部に設けてよい。

【0039】尚、シャッタープレート60は他の形状でも良く、要求される有効領域に依存する。シャッタープレート60は弧状の往復運動でも可能であり、この場合は不図示の弧の中心に關して放射状に配置される。

【0040】図3はデブリ除去シャッターの他の例を示す平面図であり、図4は4-4線で切った断面図である。

図1、2に示したシャッター20と同様に、デブリシャッター120は、プレート22、開口24、羽根状部材126、シャフト28、マニホールド32を有する。尚、上述の実施例と同様なものについては同じ符号を付し、説明は省略する。

【0041】図3に示すように、各々の羽根126は回軸30から半径方向に曲線を描いて伸びている。このような羽根126は羽根車の羽根として機能する。各々の曲線羽根126は凹面126aと凸面126bを有する。シャッター120のプレート22を矢印34の方向に回転させることにより、主に凹面126aをデブリと接触させることが好ましい。図示していないが、各々の羽根は回軸30に対して傾けて配置することも可能である。

【0042】曲線若しくは羽根車の羽根126は低圧ガス環境で用いることが特に好ましい。特に、羽根126の曲線形状が低圧ガスとガス中に拡散されたデブリを半径の外周方向に移動させるので、効率的にマニホールド32でデブリを収集することができる。

【0043】また、図3、4に示したように、収集マニホールド132は図1、2に示したマニホールド32とほぼ同様であり、プレート22と羽根126を部分的に囲み、デブリ46を収集するために空間138を形成している。環状の空間138は羽根126によって除去されたデブリを収集するように配置されている。

【0044】静止しているマニホールド132はカバー部材39aを有する。カバー部材39aはプレート22から少しの距離をおいて配置され、プレート22の回転を妨げないようにされている。また、カバー部材39aは残りのマニホールド132と一体的に形成されており、そのためそこに収集されたデブリ46を例えば低圧ガスの流れによって除去することが可能である。

【0045】カバー部材39aはマニホールド132の開口領域136以外の領域のプレート22を覆っている。

また、カバー部材39aは図1、2に示したカバー39と同様の機能を有する。開口領域136はレーザービーム42をターゲット44上に集光させ、かつX線40が開口136を通してシャッター120を通過することができるよう設けられている。

【0046】カバー39bが更に設けられている。カバー39bもプレート22の回転運動を妨げないように距離をおいて配置されている。カバー39bはターゲット44の近傍領域を除いてプレート22を覆っている。

【0047】カバー39bは静止しており、マニホールド132によって支持されている。代わりに、カバー39bをマニホールド132に一体形成し、カバー39bによって収集されたデブリ46をマニホールドを通して除去できるようにしても良い。カバー39bはプレート22から遠ざかる方向に向きを変えられたデブリをも除去することができる。

【0048】更に、カバー39bは低圧ガスとこれに拡散しているデブリを半径方向の外周方向に移動させることを強めることができ、マニホールド132によりデブリが収集される。特に、カバー39bは曲線の羽根126によってマニホールド132へ向かわせる低圧ガスの体積を制限し、よって、シャッター120内の圧力よりも低い圧力を生成することとなる。更に、シャッター120が破損した等の場合に、カバー39bは、更に、壊れやすい光学部材等の近傍の部材を破壊することを防止する。

【0049】上述の例では、シャッターの要求される回転速度のため相対的に小さい立体角の光学系に適している。しかし、装置によっては例えば1ステラジアンかそれ以上の立体角を必要とするものがある。

【0050】図5は大きな立体角をもたらすことが可能な他のデブリシャッター220の例を示す平面図であり、図6は6-6線を切った断面図であり、図7は7-7線を切った断面図である。シャッター220は立体角として0.5-1.5ステラジアン若しくはそれ以上の大きさの立体角を可能とする。図5-7をスケール図とするならば、本例では立体角は1.33ステラジアンとなる。

【0051】上述のシャッター20、120と同様に、シャッター220は静止プレート222、開口224、羽根状部材226、ハブ223、シャフト28、マニホールド32を有する。尚、上述の例と同様なものについては同じ符号を付して説明を省略する。

【0052】図5に破線222で示されるように、シャッター220の開口224は中央のハブ223から伸びており、プレート222の端が開口近傍の2つの羽根の各々の端部と同様な位置となっている。従って、開口224の大きさはほぼ最大となっている(つまり、2つの羽根で囲まれる領域にプレートが存在しない)。プレート222は前述のプレート22のように回転せずに固定

である。そのため、放射が通過するための開口224は一つのみである。従って、プレート222は前述のプレート222とカバー39の両方の機能を併せ持ったものとなっている。

【0053】前述の例では立体角はデブリを阻止または拡散する役割を本質的に持つプレート22によって制限されている。羽根は、プレートの穴を通して拡散し、結果的にデブリとなってしまうデブリを一掃する働きを持つ。本例では、羽根はプレート22の助けなしに全てのデブリを除去するように設計されている。

【0054】各々の羽根（放射アーム）226はプレート222の面と回転軸の両方に対して角度を持って配置された複数のブレード226aを有する。従って、ブレード226aにぶつかったデブリはブレード表面に付着するか、ターゲット44の方向（プレート222とは反対の方向）若しくはマニホールド32に向かう外周方向に選択的にブレード226aによって向きを変えられる。図6に示したブレードの配置では、シャッターは矢印234の方向に回転させることができ、ターゲット44の方向へデブリを向かわせることができる。上述したシャッターの例と同様に、シャッター220の回転速度はデブリの速度よりも高い。

【0055】ブレード226aはMiyazakiらの米国特許4,787,829、Ishimaruの米国特許5,350,275及びCerrutiらの米国特許5,688,106等に開示されている従来のターボ分子ポンプに利用されている機能と同様である。

【0056】本例の動作はターボ分子ポンプの軸流の理論に基づいて理解することができる。例えば、この理論はC.KrugerとA.Shapiroによる”自由分子領域における軸流圧縮機”（Proceedings of the 2nd International Symposium on Rarefied Gas Dynamics, L. Talbot, ed., Academic Press, NY, 1961, p117）に開示されている。三次元の流れ解析はより複雑であるので、以下の流れ理論の説明では三次元の流れによる全ての複雑さについては説明を行わない。以下の解析は本発明の実施が可能であるとの説明に注意を払う。ここで適用した理論は、仮に低圧ガスが存在したとしてもデブリ粒子を分子流とみなせるという仮定に基づいている。デブリ粒子同士の衝突が生じないくらいデブリの密度は十分に低い。周囲のガスが羽根との衝突で実質的にデブリの速度を変えないくらいデブリ粒子が重かったとしても分子流は仮定することができる。また、この理論でデブリの速度分布がマクスウェルの速度分布に従わなかったとしても、マクスウェルの速度分布を仮定する。しかしながら、実験値でも理論値でも基本的な結果はこれらの仮定に敏感ではないことが分かっている。

【0057】環状の羽根のアレイは図8に示すようにブレード70からなる直線のアレイに近似した。単純化のため、各々の羽根は単一のブレード70としてモデル化した。上側（upstream side）つまりターゲット側から

下側（downstream side）へ向かう分子やデブリの透過確立はブレードの間隔sと長さb、角度 α 及びデブリの平均速度とブレードの速度との比Sによって特徴付けられる。これらのパラメータの関数である透過確立はモンテカルロ法を用いて計算され、それは図9に示される（KrugerとShapiroの図2と同じである）。ターゲット側から下側へ向かうデブリの透過確立はS<0の曲線部分によって示される。もし、ブレード速度が約100m/秒かそれ以上ならば、一般にSの絶対値は1よりも十分に大きくなる。そのため、図9に示すパラメータの領域では透過確立は10%よりも小さくなる。立体角を大きくするためには、相対的にs/bの値が大きなものが必要となる。すると、透過確立を示す曲線はより高い方向へ向かう。しかし、図9に示す透過確率は現存の装置に対しては過度な評価となっている。透過確率はブレード長がとても大きいものと仮定して計算しているので、ガス分子が上側若しくは下側へいくまでブレードに衝突することとなっている。しかし、ブレードの半径方向に向かうデブリは中央のハブにぶつかったり、マニホールド32に収集されたりする。更に、本モデルではブレードに固着するデブリの可能性を含んでいない。従って、上述の透過確立は過度な評価となっている。ブレードからの散乱は本計算で仮定されている。この仮定は上述したように小さなデブリにのみ有効であると思われる。大きなデブリ粒子は羽根でほぼ正反射すると考えられるので、羽根は選択的に粒子を外側へ向かわせる。図10は図5-7の例における図8の変形例を示すものである。図8に示した単一のブレード羽根70は複数のブレード羽根77に置き換えられている。本例では弦b'は羽根77に含まれる個々のブレード79の弦b'を足し合わせたものとしている。本例では羽根がターゲットに垂直な方向に厚くなってしまっておりデブリを収集することができるが、プラズマからの放射に対しては実質的に小さな障害物となる。このデザインでは、X線に対する立体角はs/bの比やブレードの角度 α には直接は依存しない。従って、これらの値は透過確立を最小にするように選択することができる。しかし、前述の透過確立が図10の構成（s/bや α の値）から直接的に求められるかどうかは明らかではない。従って、これらはあくまでも指針である。

【0058】透過確立を下げるために、（回転）ブレード群を固定ブレード群に交互に嵌合させることができる。角度のピッチは回転するブレードとは反対となる。固定ブレードの形状が回転ブレードの形状と同じであるならば、固定ブレードは回転ブレードとほぼ同じ透過確立を持ち、理論も実験も共に各々の透過確立がpであるn個のブレードを持つ回転ブレードと固定ブレードに対する透過確立の統計はおよそ p^n となることを示している。従って、多段のシャッター若しくはブレードによって低い透過確率を得ることができる。

【0059】図11は本発明による他の例であるシャッ

ター320を示す平面図であり、図12は12-12線で切った断面図、図13は13-13線で切った断面図を示す。図11-13の例では図5-7の例に加えて複数のブレード327aを有する固定ブレード327を設けている。固定ブレード327aはシャッターの固定壁328から延びている。また、マニホールド32に直接取り付けてもよい。固定ブレード327aは羽根326の回転ブレード326aと互いに噛み合う（図13参照）。

上述したように、固定ブレードと回転ブレードとを噛み合わせた多段のシャッターはターゲットと下側に位置する光学系との分離をより高いものとすることができます。例えば、一つのブレードを横切るデブリの透過確立Pが約0.1であるならば、図11-13に示した例（4つの回転ブレードと3つの固定ブレード）の透過確立は約10⁻⁷となる。

【0060】固定ブレード327aは回転軸30に円周方向に部分的に延びている。固定ブレード327aはX線40やレーザービーム42が通過するための開口324を形成する。固定ブレード327aは、シャッター320の面と回転軸30に対して回転ブレード326aとは反対方向に配置されている（図12参照）。固定ブレード327aはシャッターの複雑さを増加させる。

【0061】回転ブレード326aにぶつかったデブリはブレード326a又は固定ブレード327aに固着する、若しくはターゲット44方向及び／又はマニホールド32の方向へブレード326aによって向きを変えられる、若しくは固定ブレード327aによってターゲット44とは逆方向に向きを変えられる。図10に示す回転ブレード326aの配置では、シャッター320は好ましくは矢印234の方向に回転し、回転ブレード326a、固定ブレード327aによって上述のようにデブリの向きを変える。不図示ではあるが、他の変形例としてはシャッターを半径方向に延びさせてレーザービーム発生装置（特に光学部材）をデブリから保護するようにすることができる。この変形例ではプレートを半径方向に延びさせ更にターゲットへ向かうレーザービームを通過させるための開口をプレートに設ける。このレーザービーム用の開口の動作は図1等で示したX線通過用の開口24と同じである。つまり、第1の開口群がX線通過用に用いられ、第2の開口群がレーザービーム通過用に用いられる。シャッターに関していくつかの変形例を示してきたが、どの変形例の要素を他の例に用いることも可能である。例えば、全てのもしくはどの例でもプレートの両側面もしくは片面にカバーを設けてもよく、このカバーはマニホールドに支持されてもよく、また、他の部材に支持されてもよい。

【0062】更に、上述の例よりも複雑となるが、より大きな立体角をもたらす例を以下に示す。例えば図15は図1-4のシャッターを2つ使った例であり、単一のシャッターで得られるよりも大きな立体角をもたらす

ことができる。尚、前述の例と同様なものについては同様な符号を付して説明は省略する。例えば、図15(a)の上側のシャッター（符号にaがついている）は、X線通過用の開口24a、シャッタープレート22aに接続された羽根26a、ハブ28aに接続されたシャッタープレート22aを有し、矢印534aの方向に回転される。下側のシャッター（符号にbがついている）も同様である。2つのシャッタープレートは矢印534a、534bで示すように反対方向に回転する。しかし、2つのプレート上の開口24a、24bに対して異なる方位配置となっている。また、2つのシャッターは近接して配置されるが、上下方向に位置をずらして配置されている（図15(b)参照）。その結果、2つのシャッターピanesはシャッタープレートと羽根が互いに接触しないようにはずかにオーバーラップしている。例えば、図15(a)から分かるように、羽根26a'、26b'が空間526中を回転するときに衝突しない。制御装置525は制御装置25とは異なり、2つのモーター27a、27bを制御しなければならない。

【0063】プレート539はレーザーターゲットとは逆側のシャッターの側面を覆っており、プレートの開口以外の部分でX線を阻止する。レーザービーム42はプレート539とマニホールド532の切り欠きを通して側面より入射する。楕円550はシャッタープレーン22a上におけるレーザービームの断面を示す。レーザービームの角度の大きさはf/2レンズから投影されるものと一致する。

【0064】プレート539の開口はシャッターの開口よりも大きく描寫されているが、立体角がプレートの開口で決まるようにシャッターの開口よりもわずかに小さいことが好ましい。何故ならば、シャッターは回転するので角度の位相変化を引き起こすからである。

【0065】本例は有効立体角を大きくすることができる。例えば、図15をスケール図とするならば、X線に対する立体角は約1.0ステラジアンとなる。図16(a)-(c)、図17はシャッター320を用いた変形例である。基本的に2つのシャッターはシャッター320と同じものであり、立体角はほぼ2倍となる。X線用の開口626はレーザービームを通過させるために非対称となっている。同様な理由から固定ブレードは回転ブレードのような同一の方位周期を持たない。しかし、これらは装置の性能には影響を及ぼさない。2つの回転は矢印634a、634bで示すように反対方向となっている。2つの回転体はターゲット44から異なった位置に配置されているので、2つの回転体に備えられているブレードは互いに嵌合し、ぶつかることはない。プレート622はターゲットとは反対側のシャッター側面を覆っており、開口626以外の領域でX線を阻止する。図18にプレート622を示す。ターゲット44上のレーザーの焦点位置43が示されている。レーザービーム42

はプレート622、マニホールド632、固定マウント628の切り欠き部を通して側面より入射される。梢円650はプレート622上におけるレーザービームの断面を示す。レーザービームの角度の大きさは $f/2$ レンズで投影されるものと一致する。

【0066】上述した理由と同じ理由から、プレートの開口622が立体角を決めるように、回転体で決まる開口よりもプレートの開口を小さくすることが好ましい。本例では立体角を大きくすることができ、例えば、図16をスケール図とするならば立体角は1.8ステラジアンとなる。仮に、シャッター620から固定ブレードを取り除く場合、ターゲット面とプレート622との距離は実質的に短くすることができるので、立体角はより大きくなる。

【0067】立体角を大きくするためのシャッター720を図19、20に示す。ターゲット44に平行な面とするのではなく、回転ブレード726と固定プレート722は曲線を描いており、プラズマ放射源は回転ブレードと固定プレートの曲率半径のほぼ中心に配置される。こうすることによって、マニホールド32、シャフト28及び回転ハブ723をターゲット面に対して動かすことができ、より立体角の有効範囲を大きくすることができる。

【0068】図19(b)は回転ブレード726の相対的な配置を示し、これは上述した例と同様である。故に、ブレードはデブリの除去に関して同じ効果を有する。図19、20をスケール図とするならば、固定プレート722の開口724による立体角は3ステラジアンを越える。これはレーザービームに対する立体角を含む。この立体角に入るプラズマ放射を全て用いることは不可能である。何故ならば、コンデンサー光学系若しくはそこに配置される露光ターゲットがレーザー光やそれに関連する光学系と干渉するからである。レーザーターゲットは本発明には直接関連しないが、ある種類のターゲットを用いればレーザービームの位置を変えることができるので、全ての立体角を有効にすることができます。これを図21-25に示す。

【0069】図21-23はシャッター720にテープ状のターゲットを用いた例を示す。テープ状ターゲットは、薄いテープ745上にターゲット材料744が形成されたものであり、図22の紙面外から連続して移動されている。図22ではテープ状ターゲットの一部にレーザーが照射されている状態を示す。テープターゲットの例はS.Haneyらの"Prototype high speed tape target transport for laser plasma soft x-ray projection lithography source"(Applied Optics, Volume 32, p.6934(1993)に開示されている。図23にターゲットの詳細を示す。テープは開口748を有する棒746上を移動し、レーザービームはテープの背面より照射される。レーザーは固定プレート722に対してテープの背面に位

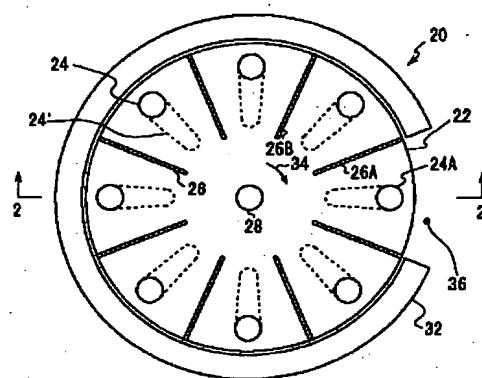
置される。テープはとても薄い領域をもちそこにレーザーパルスが集光されるので、テープの厚さ方向の全体を蒸発させる。従って、プラズマからの放射はほぼ等方的となる。全てを蒸発させるためには、テープの薄い領域の厚さは1μmよりも薄くすべきである。もし、ターゲット材料が適当な物性を持つのであれば、開口を設けたテープに自立薄膜として開口部にターゲット材料を設け、ターゲット材料のみをX線の放射のために用いることができる。この場合、テープ材料からの放射が無くなるので、テープ材料による不必要なスペクトルを無くすことができるので好ましい。また、より多くのレーザーエネルギーを投入してターゲット材料からのプラズマを暖めると放射効率を向上させることができる。制御装置725は回転体726の回転と、レーザービームパルス発生源729と、テープターゲット装置747を制御する。

【0070】図24、25はシャッター720のターゲットをガス若しくは液体にした例である。ガスターゲットに関しては、G.Kubiakらが"Scale-up of a cluster jetlaser plasma source for Extreme Ultraviolet Lithography"(Proceedings of SPIE, Volume 3676, p.669(1999))に開示している。ガスまたは液体744はパルス状または一定流量でソース745のノズル747から導入される。レーザーが集光される領域を通過した後、残った液体(又はガス)はターゲット領域からガスまたは液体を回収する収集器749に入り込む。仮に、この領域が部分的に真空に保持されるならばこれは重要である。本例でもレーザービームはターゲットの後ろに配置されるため、シャッターとターゲットの前面はコンデンサー光学系や他の用途に用いることが可能となる。

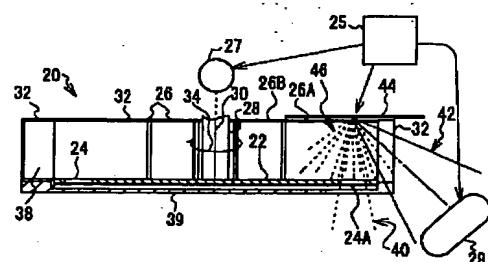
【0071】前述したように、ガスのターゲットは相対的にはデブリの量は少ない。しかし、ガス密度つまりプラズマ放射強度はノズルからの距離に応じて減少する。従って、放射効率を高めるためにはレーザーの集光位置は可能な限りノズルに近づけることが好ましい。しかし、プラズマによってノズル先端がダメージを受けることによるデブリは問題となる。シャッター720を用いればこのようなデブリを除去することができるので、レーザーの集光位置をよりノズルに近づけることにより放射効率を向上させることができる。

【0072】本発明は以上の例に限らずあらゆる变形を行うことができる。例えば、複数の開口や羽根を用いるのではなく一つの開口と一つの羽根のみでも本発明を実施することができる。更に、プレート無し又は羽根にオーバーラップさせたアームを有するプレートを設け、回転シャフトに搭載された一つ若しくは複数の羽根に沿って機械的なシャッターを設けても良い。機械的なシャッターは羽根の回転に応じて開閉動作を制御することができるが、物理的に羽根の回転とは独立させることも可能である。このような例では、機械的なシャッターはブ

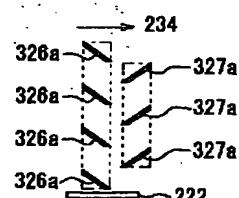
【図1】



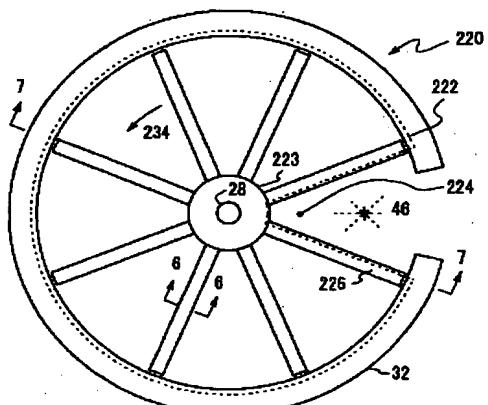
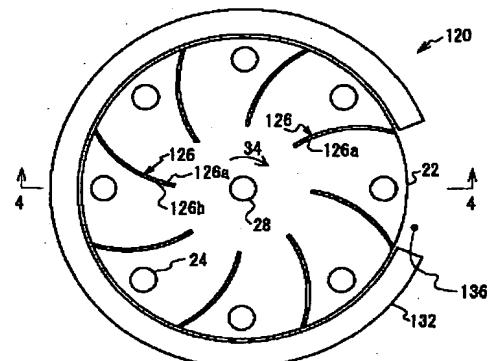
【図2】



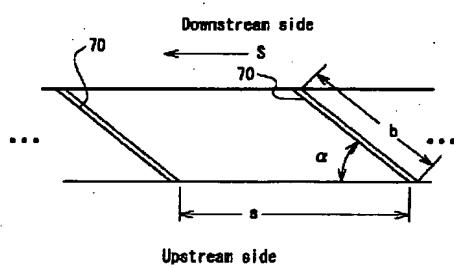
【図12】



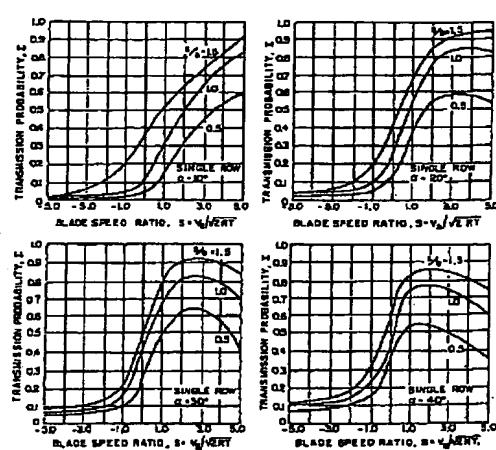
【図3】



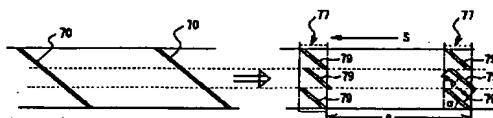
【図8】



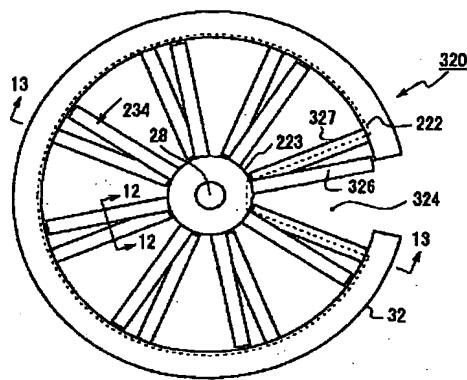
【図9】



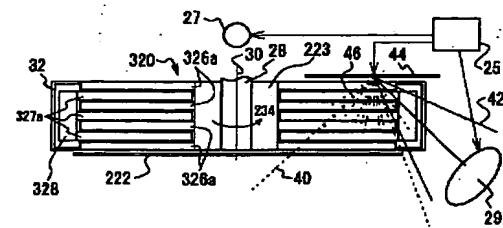
【図10】



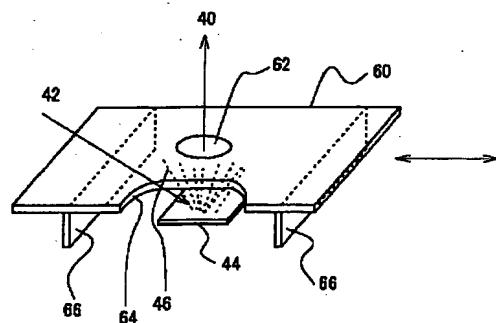
【図11】



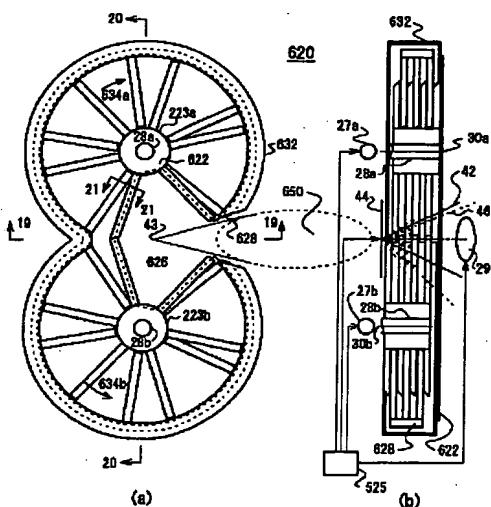
【図13】



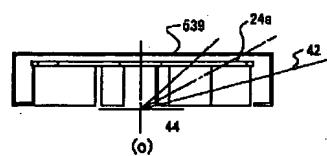
【図14】



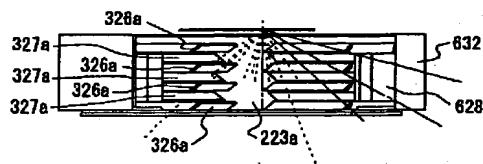
【図16】



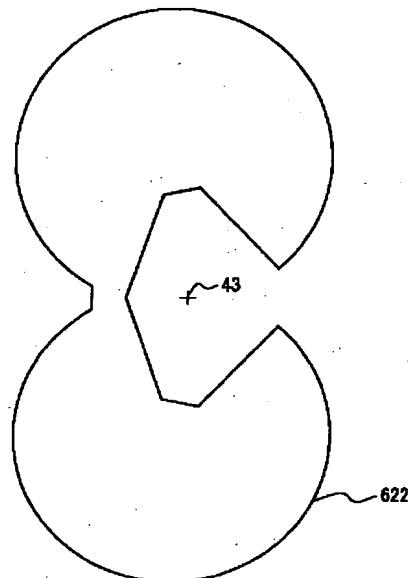
【図15】



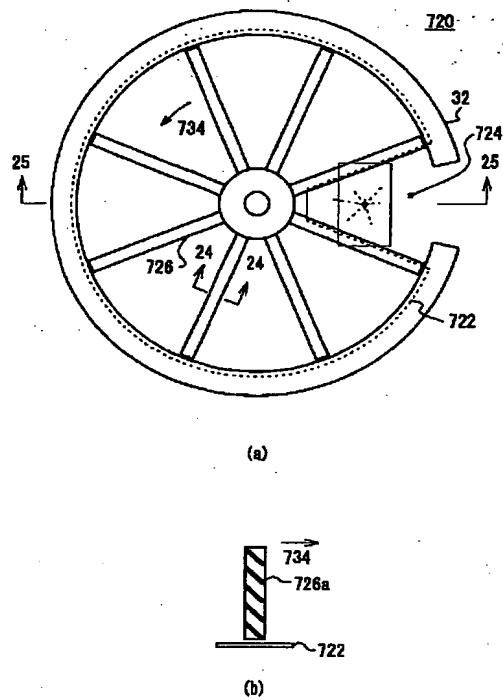
【図17】



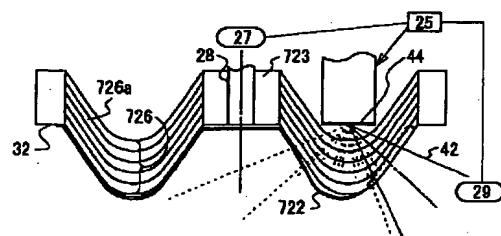
【図18】



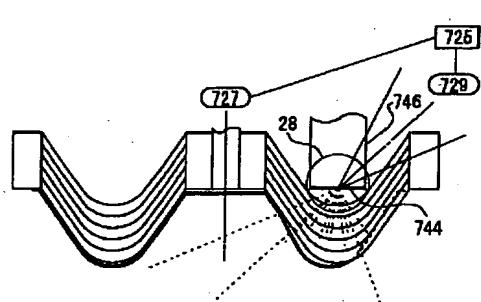
【図19】



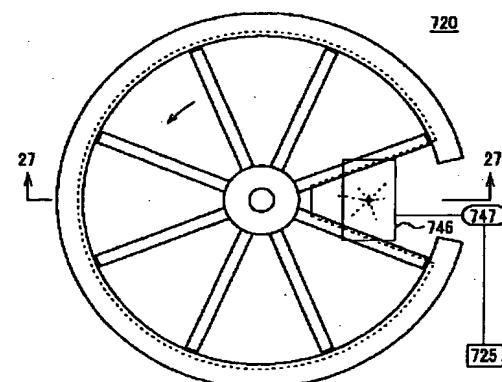
【図20】



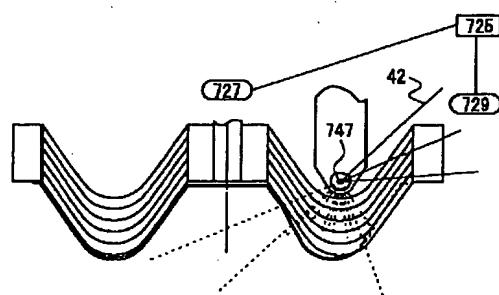
【図22】



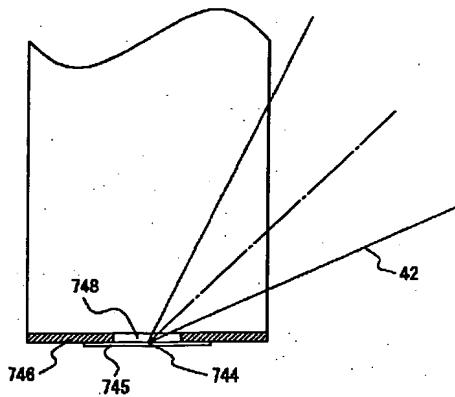
【図21】



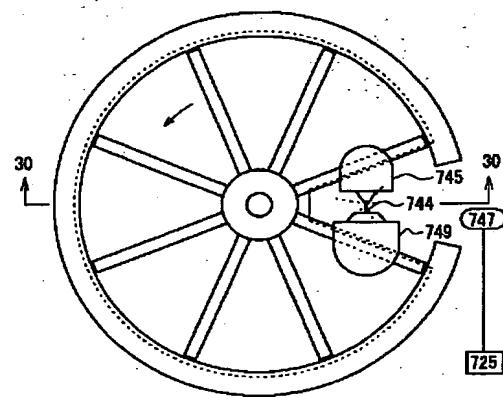
【図25】



【図23】



【図24】



【図26】

